지하공사 사례를 기반으로 한 터파기 공법 선정프로세스 분석

Case Analyses of the Selection Process of an Excavation Method

박 상 현* 이 강** 최 명 석*** 강 현 정**** 임 홍 철*****
Park, Sang-Hyun Lee, Ghang Choi, Myung-Seok Kang, Hyun-Jeong Rhim, Hong-Cheol

Abstract

As the proportion of underground construction increases, the impact of inappropriate selection of a underground construction method for a construction size increases. The purpose of this study is to develop an objective way of selecting an excavation method. There have been several attempts to achieve the same goal using various data mining methods such as the artificial neural network, the support vector machine, and the case-based reasoning. However, they focused only on the selection of a retaining wall construction method out of six types of retaining walls. When we categorized an underground construction work into four groups and added more number of independent variables (i.e., more number of construction methods), the predictability decreased. As an alternative, we developed a decision tree by analyzing 25 earthwork cases with detailed information. We implemented the developed decision tree as a computer-supported program called Dr. underground and are still in the process of validating and revising the decision tree. This study is still in a preliminary stage and will be improved by collecting and analyzing more cases.

키 워 드 : 터파기 공법, 의사결정 나무, 공법 선정
Keywords : Excavation Methods, Decision Tree, Method Selection

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

도심부의 지가(地價)가 높아짐에 따라 지하공사 규모가 점차 커지고 공법도 다양화, 전문화 되어 가는 추세이다. 더욱이 지하 공사가 전체 공사비의 약 20~40%[1]를 차지하고 있어, 공사전체 미치는 영향이 매우 크다. 현장조건에 적합한 지하공법을 선택하지 못할 경우, 전체적으로 공기가 지연 되거나 공사비가 증가하는 경우가 생기고, 민원 및 흙막이 구조체의 붕괴 등의 안전사고로 이어지는 경우도 적지 않다.

그런데, 다년간의 경험이 있는 현장기사의 경우도, 한 현장이 보통 2~5년 정도 걸리는 건설공사의 특성상 다양한 굴착공사를 경험해보기 어렵고, 전문 컨설팅 업체의 자문을 받기 전까지는 현장여건에 맞는 굴착공법에 관한 정보를 얻기가 어렵다. 또한 국내 토공사 전문 컨설팅업체의 경우, 특정 공법과 연관된 경우도 있어, 객관적이고 신뢰성 있는 굴착공사 정보를 신속하게 얻기가 어렵다.

* 연세대학교 건축공학과
** 연세대학교 건축공학과 교수
*** 연세대학교 건축대학원 석사과정
**** 연세대학교 건축대학원 석사과정
***** 연세대학교 건축공학과 교수

1) 한국건설관리학회 역, 「건설관리의 개념과 실제」, 2000

본 연구는 공법선정의 중요요인들을 추출하고 공법선정 과정을 의사결정 나무(decision tree, 이하 DT)를 구축하여, 궁극적으로 신속하고 객관적이면서 동시에 현장조건에 맞는 굴착공법을 추천하는 전문가 시스템을 구축 하는데 목적이 있다. 이는 굴착방식의 변경이나 보강공법의 추가 사용 등의 차후 대책으로 해결되어지는 이중의 작업과 위험요소들을 대비하고 나아가서 공기 단축과 공사비 절감 및 업무의 효율성에 기여하는데 그 목적이 있다고 하겠다.

1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구의 범위는 국내외 터파기 공사 관련 전문서적과 논문을 고찰하여 사전조사를 하고, 이를 바탕으로 1992년부터 현재까지 행해진 26개 건축물의 지하굴착공법의 의사결정 과정을 분석하여 터파기 공사를 다음 표1과 같이 굴착방법, 흙막이방법, 차수방법, 지지방법 네 가지로 구분하여 공법선정 프로세스 개발에 적용하였다.

표 1. 사례로부터 추출된 공법들

굴착방법	흙막이방법	차수방법	지지방법
Bottom-up	H-Pile	JSP	자립식
Top-down[2]	Slurry Wall	SGR	Strut/Raker
	SCW	LW	Earth Anchor
	CIP	SIG	Shotcrete
	Sheet Pile		

2) 조사사례 중 top-down 공법 사례는 없었으나, bottom-up (또는 오픈 컷)공사와의 비교를 위하여 추가하였음.

표 2. 조사사례 건물의 규모

구분	평균	표준편차	중위수
지상층수	7.44	2.43	7
지하층수	2	1.17	2
연면적(㎡)	7540.18	9159.94	8043.97

연구는 아래와 같은 방법으로 진행되었다.

1) 기존의 문헌 조사 및 일반적 이론을 고찰하고, 전문가 인터뷰 등을 통하여 현재 지하 공법의 선정프로세스를 의사결정 나무(decision tree, DT)의 형태로 작성하였다. 의사결정나무(DT)는 스무고개 놀이와 비슷하게 예/아니오의 이분법적인 대답만을 할 수 있는 연속된 질문들을 통하여 제한요건에 맞는 적절한 해결책의 범위를 좁혀 최종적으로 모든 질문을 만족하는 가장 적절한 해결책을 유도하는 방식이다.
2) 25건의 각종 공사 사례들을 기반으로 작성한 DT의 오류를 수정하여 DT의 정확도 및 신뢰도를 높였다.
3) 수집된 데이터가 많을 경우, data mining 기법을 사용할 수도 있으나, 수집된 자료의 양이 적어 수작업을 통하여 굴착공법 선정 프로세스 모델을 개발하였다.

2. 선행연구 고찰

현재 실무에서의 공법 선정 과정은 현장기술자나 전문가의 경험과 주관적인 선호에 따라 선택되어지며, 가끔은 각 공법에 대한 잘못된 정보를 토대로 결정이 이루어지는 경우도 있다. 이러한 문제점을 극복하고, 최근 학계에서는 다양한 연구가 활발하게 이루어지면서 객관적인 공법 선정을 통한 해결책을 제시하는 논문이 다수 발표되었다. 대표적인 연구로는 사례기반추론을 이용한 흙막이공법 선정모델에 관한 연구[3], Support Vector Machine을 이용한 흙막이공법 선정모델에 관한 연구[4], 신경망과 사례기반추론을 이용한 흙막이 공법 선정에 관한 연구[5] 리스크 분석을 통한 지하 구조체 공법 선정에 관한 연구[6] 등을 들 수 있다.

이러한 연구들은 기존의 공법 선정 방식에 객관성을 부여하고자 다양한 이론들과 접목을 시도한 형태로 볼 수 있으나, 흙막이 연구의 경우 연구범위가 H-Pile, SCW, CIP, Slurry Wall의 네 가지 흙막이 공법과 두 가지 복합공법에 제한되어 있고, 리스크 분석 연구의 경우는 객관적인 지질자료 등의 현장여건 자료보다는 전문가 인터뷰 형식으로 연구가 진행되어 연구결과의 구체적인 실무적용에 한계가 있다. 최근 정경진의 건설 현장 제한 조건 분석에 의한 적정 흙막이 선정 방법에 관한 연구[7]의 경우, 구체적인 현장 제한 조건 및 지반 공학적 분석을 적용한 지하공법선정 체크리스트를 제시하여 이러한 한계를 극복하고자 하였다. 본 연구는 정경진의 연구와 별개로 출발하였으나, 지하공법을 흙막이 공법으로 한정하지 않고 몇 개 공법의 조합으로 다룬 점[8]이나 현장제한여건을 예/아니오의 이분법적이고 구체적인 질문의 형식[9]으로 표현한 점 등 개념적으로 유사한 면이 있다. 정경진의 연구와 대별되는 본 연구의 특징은 다음과 같다.

1) 현장제한여건을 독립된 질문들로 이루어진 체크리스트의 형태가 아니라 의사결정 나무(DT)의 형태로 표현하여 각 현장제한요건들 간의 우선순위와 종속성을 표현하였다.
2) 25건의 실제 토공사례의 의사결정 과정을 DT의 형태로 표현함으로써 실제 의사결정에 큰 영향을 미치지 않는 요인들을 자연적으로 배제시켜 의사결정과정을 단순화시키면서도, 실무에 직접 활용할 수 있는 결과를 얻을 수 있었다.

3. DT(decision Tree)구축 및 사례분석

3.1 DT구축

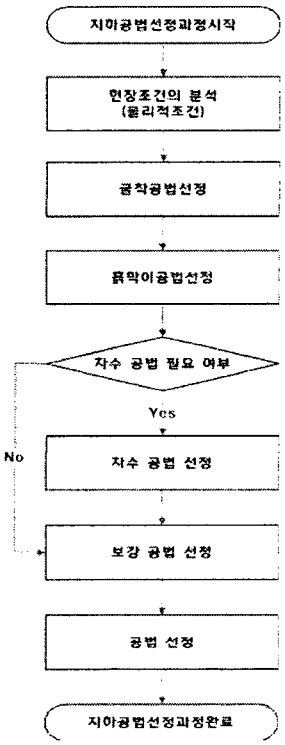

그림 1. DT프로세스

우선적으로 DT를 구축하는 목적은 지하공법을 선정하는 각 분야에 대한 의견을 수렴하는 절차와도 같다고 볼 수 있다. DT를 연구 방법으로 선택한 이유는 실질적으로 최종공법을 선택하는데 있어서 다양한 방면의 의견과 조건을 수렴하기 위함이며 이를 통해 현장의 복잡한 요구조건들을 비교적 객관적으로

3) 김재엽 외, (2004)
4) 박우열 외, (2006)
5) 김재엽 외, (2006)
6) 윤여완 외, (2001)
7) 정경진, (2005)

8) 정경진, 앞의 책 p. 49, 4.6 흙막이 공법 조합의 예
9) 정경진, 앞의 책 pp. 46-48, 4.5 현장제한 요건 체크리스트

공법 선정에 반영하는데 효과적으로 판단되었기 때문이다. 일단 DT를 구축하기 시작하면 중요한 것은 크게 두 가지로 축약될 수 있는데 우선적으로는 어떠한 의사 결정이 먼저 진행될 것이냐에 대한 우선순위에 관한 문제이며 또 하나의 문제는 지하공법 선정과정에 있어서 의사결정이 비교적 객관화된 지표로 제시되어 답해져야 한다는 것이다. 우선 전체적인 DT의 진행은 그림 1에서 보이는 것과 같이 공사의 시간적 흐름에 따라 굴착, 흙막이 순으로 제시하였고 이후 추가적인 보강이 필요하다고 판단될 경우 차수 공법과 지보공을 선택사항으로 차후 고려하도록 구성하였다. 이 각 영역은 이전 영역의 결정에 따라 유동적으로 그 의사 결정 과정이 변하게 된다. 이는 다시 말하면 그림 2의 Bottom-up set와 그림 3의 Top-down set의 경우에서와 같이 굴착 공법을 선정하는 틀은 일치하나 이후 굴착 공법이 Bottom-up, 또는 Top-down 공법 중에 어느 쪽으로 선택되는가 하는가에 따라 흙막이 공법 선정 이후의 프로세스 틀 자체가 변화됨을 의미한다. 이는 Bottom-up과 Top-down공법의 흙막이 및 차수, 보강 형식이 상이하고 이에 따라 선정 프로세스가 전적으로 변화되어야 할 필요가 있다고 판단되었기 때문이다.

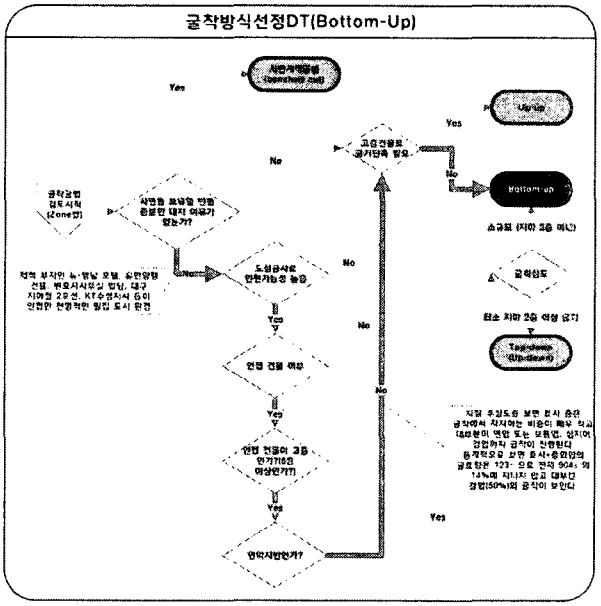

그림 2. Bottom-up 선정 과정(대구 두산 위브 더제니스)

이어서 각 카테고리 내부의 선정 과정 간에 위계관계를 설정해야하는데 이를 위하여 다음과 같은 점을 검토하였다.

1) 전체적인 공법들을 큰 범주로 분류할 수 있는가
2) 예/아니오로 구분될 수 있는 뚜렷한 구분점이 있는가

하나의 사례를 통하여 설정된 현장조건 간의 위계관계는 지속적인 사례 분석을 통해 수정하였다. 각 단계에서 질문되는 세부 항목들은 현재까지 검증된 공법 선정 프로세스에 그 선정 자체에 영향을 주는 요소들로 정리하였으며 하나의 예로 그림 2와 그림 3에 굴착 방식이 선정되는 사례를 통해 공법이 선정되는 흐름에 제시되는 질문 사항을 표 3과 표 4에 순서대로 나열해 보았다. 이 표에 모든 질문이 표함 되지는 않으며 대략적인 흐름을 제시한다.

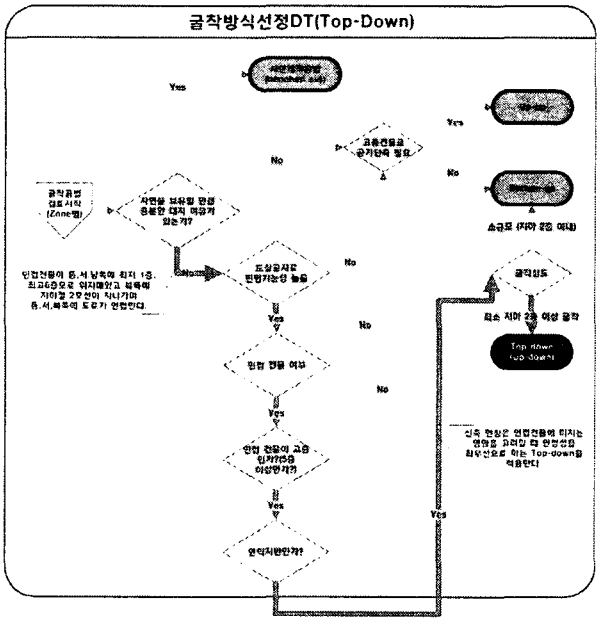

그림 3. Top-down 선정 과정(베스트 웨스턴 호텔)

표 3. 선택사항 (그림 2)

	선택사항	응답
굴착	사면을 보유할 만큼 충분한 대지 여유가 있는가?	N
	도심공사로 민원 가능성이 높은가?	Y
	인접 건물이 존재하는가?	Y
	인접 건물이 고층(6층 이상)인가?	Y
	연약 지반 인가?	N
	고층건물로 공기 단축이 필요한가?	N
	Bottom-Up 선정	

표 4. 선택사항(그림 3)

	선택사항	응답
굴착	사면을 보유할 만큼 충분한 대지 여유가 있는가?	N
	도심공사로 민원 가능성이 높은가?	Y
	인접 건물이 존재하는가?	Y
	인접 건물이 고층(6층 이상)인가?	Y
	연약 지반 인가?	Y
	굴착심도가 최소 2층 이상인가?	Y
	Top-down 선정	

3.2 사례분석

사례는 총 25개의 사례 가운데서 가장 많은 의사 결정 과정을 거침으로써 DT의 전반적인 흐름을 반영하는 공사 사례인 부산 1동 우체국의 전체적인 흐름을 표 5에서 제시하였다.

부산 1동 우체국은 26건의 사례 검증 중에 23번째에 해당되는 사례로서 DT 검증 시 오류 없이, 선정됐던 공법과 시공된 실제 공법이 일치하였다.

하지만 실제로 다른 검증 사례에서는 다양한 오류가 발생하여 수정을 거듭하였는데 그 사항은 아래와 같다.

1) 적당한 안정성의 범위 내에서 경제성을 가장 우선시로 공

법을 선정하는 사례

2) 차후 문제가 발생될 것을 예상하고서도 미미하다고 판단, 관계없이 공법 선정 후 시공 방법과 장비의 유동적인 교체로 최초 공법의 단점을 극복하는 공사 사례

표 5. 선택사항(부산 1동 우체국)

선택사항		응답
굴착	사면을 보유할 만큼 충분한 대지 여유가 있는가?	N
	도심공사로 민원 가능성이 높은가?	Y
	인접 건물이 존재하는가?	Y
	인접 건물이 고층(6층 이상)인가?	N
	고층건물로 공기 단축이 필요한가?	N
	Bottom-Up 선정	
흙막이	전체가 암(岩)인가?	N
	연약지반인가?	N
	인접 건물의 침하, 진동, 소음 위험이 있는가?	N
	H-Pile+토류판 공법 선정	
차수	차수 공사가 필요 한가?	Y
	굴착 심도가 30m이상인가?	N
	장기 차수가 요망되거나 지하수 영향이 큰가?	N
	공극이 큰 실트, 점성토 층인가?	Y
	인접 건물 및 매설물에 대한 피해가 있는가?	N
	JSP차수 공법 선정	
버팀	굴착폭이 5~6m이내인가?	N
	대지 인접하여 지하철 또는 기존 건물이 있는가?	Y
	사변이 30m 평행 50~60m 이내인가?	Y
	Strut/Raker 공법 선정	

표 6. 공법 일치 여부 검증

구분	선정공법	시공공법
굴착공법	Bottom-up	Bottom-up
흙막이공법	H-pile+토류판	H-pile+토류판
차수공법	JSP	JSP
버팀공법	Strut/Raker	Strut/Raker

4. 지하공법 추천 소프트웨어 개발

현재 지하공사에 관련된 대부분의 연구가 그 적용성에 있어서 많은 의문을 남기는 것이 사실이고 이는 실제 공법 선정에 참여할 주체인 현장 실무자가 쉽게 현장에 적용하기 어렵기 때문이다. 본 연구팀은 공법선정 연구결과의 현장적용을 용이하게 하고자 Dr. Underground라는 지하공법선정 도우미 소프트웨어를 개발하였다. 실무자가 전문 컨설팅을 받기 전 현장여건에 적절한 지하공법을 쉽고 빠르게 검토를 하고자 본 연구에서 도출된 DT를 소프트웨어로 개발한 것이다. 현재는 테스트 버전으로 앞으로 더 많은 현장 검증을 거쳐 발전시켜 나갈 계획이다.

5. 결론 및 향후 계획

최근 지하공사가 전체 공사에서 차지하는 비율이 커지면서, 이전까지 전문가의 주관적 경험이나 선호에 의존해오던 지하공법 선정방법을 객관화하려는 연구가 진행되고 있다. 본 연구는 이러한 맥락에서 26개의 지하공사 사례의 공법선정과정을 분석하여 지하공법 의사결정나무(decision tree, DT)를 작성하였으며, 이를 토대로 현장기술자들이 보다 쉽게 활용할 수 있도록 Dr. Underground라는 지하공법 추천 소프트웨어 테스트 버전을 개발하였다. 현재 작성된 DT의 경우 26개의 사례를 모두 만족하고 있으나, 아직 초기단계이며 최근 이슈가 되고 있는 탑다운 공법 등의 선정 프로세스를 포함하지 못하고 있다. 향후 보다 신뢰성 있고 실무에 활용 적합한 지하공법 선정시스템 개발을 위해서는 더 많고 다양한 사례들을 추가적으로 검토하여야 할 것이다. 이후 지속적인 지하공사 데이터베이스 구축 작업을 통하여 향후 한층 발전된 형태의 사례 기반 공법선정 프로세스를 구축할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고, 한국건설교통기술평가원에서 시행한 2006년도 건설핵심기술 연구사업 "공기 단축형 복합 구조시스템 건설기술" (과제번호: 05 RND 건설핵심 D02-01)" 의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 한국건설관리학회 역, 「건설관리의 개념과 실제」, 인터비젼, 2000
2. 김재엽, 박우열, 김광희, 김중구, 「사례기반추론을 이용한 흙막이 공법 선정모델에 관한 연구」, 건설관리학회논문집, 5권, 5호, pp. 76-32, 2004
3. 김재엽, 박우열, 김광희, 「신경망과 사례기반추론을 이용한 흙막이 공법 선정에 관한 연구」, 대학건축학회논문집 (구조계) 22권 5호 pp. 187-194, 2006
4. 윤여완, 양극영, 홍성휘, 「리스크 분석을 통한 지하 구조체 공법 선정에 관한 연구」, 환경건설논문집, 11집, 2001. 12
5. 박우열, 김재엽, 「Support Vector Machine을 이용한 흙막이공법 선정모델에 관한 연구」, 한국건설관리학회 논문집 7권 2호, pp. 118-126, 2006
6. 정경진. 「건설 현장제한조건 분석에 의한 적정 흙막이 선정 방법에 관한 연구」, 단국대학교 대학원 석사논문, 2005